

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
“АЗОВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА”  
(ФГБНУ «АЗНИИРХ»)**



**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ  
26-29 ОКТЯБРЯ 2015 Г.**

**Ростов-на-Дону  
2015**

*Поповичев В.Н., Ерёмин О.Ю., Бобко Н.И., Родионова Н.Ю.,  
Богданова Т.А.*

*ФГБУН Институт морских биологических исследований  
им. А.О. Ковалевского, Севастополь  
popovichev@ukr.net*

## **ПРОДУКЦИОННЫЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОБ МОРСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ ВОДЫ И НЕКОТОРЫХ СОЛЁНЫХ ОЗЁР КРЫМА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СУХОПУТНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ В АВГУСТЕ 2014 Г.**

Хрестоматийно известно, что сероводород в Черном море – одно из самых уникальных свойств моря, а т.к. глубже 200 м в черноморской воде нет кислорода, то ни животные, ни растения там жить не могут. На глубинах примерно от 200 м до самого дна Черного моря живут только бактерии, выделяющие сероводород. И главные причины существования сероводородной зоны – это вертикальное расслоение черноморских вод и большой принос реками биогенных веществ [6].

В Черном море, из-за его опреснения реками, существуют два слоя воды, которые слабо смешиваются друг с другом: поверхностный слой черноморской воды (толщиной около 100 м) преимущественно речного происхождения. Вместе с тем, в глубины моря поступает более солёная, а значит более тяжёлая, вода из Мраморного моря, притекающая по дну Босфорского пролива (нижнебосфорское течение) и опускающаяся вглубь Черного моря (солёность его придонных слоев достигает 30 ‰). Расслоение, т.е. стратификация черноморской воды по солёности, плотности и температуре, препятствует вертикальному перемешиванию моря и обогащению глубин кислородом. К тому же, вся развивающаяся морская жизнь (от одноклеточных водорослей до рыб и дельфинов) дышит – потребляет кислород, и когда живые организмы умирают, их останки становятся пищей для бактерий-сапротрофов, однако, при бактериальном разложении мёртвого органического вещества (гниении) также используется кислород. С глубиной, разложение начинает преобладать над процессами генерации живого вещества планктонными водорослями, а потребление кислорода при дыхании и гниении становится более интенсивным, чем его производство при фотосинтезе, и поэтому, чем глубже от поверхностного горизонта – тем меньше остаётся в воде кислорода. В афотической зоне моря, куда не проникает солнечный свет, под холодным промежуточным слоем (ниже 100 м) кислород уже не производится, а только потребляется; не проникает он сюда и за счёт перемешивания, т.к. этому препятствует стратификация вод [7].

В контексте вышеизложенного: увеличение антропогенного пресса на водосборной площади Черного моря и его прибрежной зоне приводит к его эвтрофикации и как следствие – способствует расширению его сероводородной зоны, однако, в какой мере негативное развитие этой зоны вызвано природными, а в какой антропогенными факторами – вопрос неоднозначный.

Для прогноза эволюции сероводородной зоны Черного моря надо учитывать множество динамических и зачастую взаимообусловленных факторов, отражающих его климатические, гидрологические и биогеохимические особенности, наряду с техногенным прессом. Теоретическое моделирование на ЭВМ и непосредственно натурные исследования указывают на восстановление сульфатов микроорганизмами как на основной источник пополнения сероводорода в Черном море, а очаги микробиологической сульфатредукции приурочены к местам поступления мёртвого органического вещества с прибрежных акваторий. Отсюда, главная причина расширения сероводородной зоны – эвтрофикация моря, повышение содержания в нём органических веществ, а т.к. основная доля их образуется в сравнительно узкой прибрежной зоне, именно её экосистема определяет содержание сероводорода в глубинах Чёрного моря [6].

В этой связи, проводимые нами исследования первичной продуктивности, как прибрежных вод Крыма, так и некоторых его внутренних водоёмов, в частности – солёных озёр, находятся в русле современной биогеохимической парадигмы и являются важным звеном экологического мониторинга.

Целью настоящей работы является представление данных и краткий анализ исследовательского материала, полученного в ходе 5–суточной сухопутной экспедиции по отбору проб поверхностной воды из морского побережья и из некоторых солёных озёр Крыма, проведённой нами в августе 2014 г.

### Материал и методика

Для определения интенсивности процесса первичного продуцирования органического вещества (ОВ) биотическим компонентом природной взвеси (фитопланктоном) в пробах воды мы применяли радиоуглеродный метод «в модификации склянок», при этом уровень «чистой» первичной продукции (ПП,  $\text{мгС м}^{-3} \text{сут}^{-1}$ ) рассчитывали по разности ассимилированной углекислоты, меченной  $^{14}\text{C}$ , внесённой в «светлые» и «тёмные» склянки, с их последующим помещением на 1–суточную экспозицию в условия близкие *in situ* [1, 4].

Скорость продуцирования ОВ рассчитывали по формуле:  $C_{\phi} = C_{\kappa} \times t / R$ , где  $C_{\phi}$  ( $\text{мгС л}^{-1}$ ) – величина фотосинтеза за время экспозиции;  $C_{\kappa}$  ( $\text{мгС л}^{-1}$ ) – общее количество углерода во всех формах углекислоты

в воде;  $г$  (кБк  $л^{-1}$ ) – радиоактивность, приобретённая взвесью за время экспозиции;  $R$  (кБк  $л^{-1}$ ) – радиоактивность, внесённая в опытные склянки и измеренная при тех же условиях, что и  $г$  [4]. При расчёте ПП для морских прибрежных акваторий бралось значение  $C_k = 36 \text{ мгС } л^{-1}$  [3], а для озёр –  $C_k = 25 \text{ мгС } л^{-1}$  [4].

Концентрацию взвешенного вещества ( $C_{\text{взв}}$ ,  $\text{мг}_{\text{сух}} \text{ } л^{-1}$ ) в пробах воды определяли методом «мембранного фильтрования» [2], а гидрохимические характеристики проб воды определяли, руководствуясь соответствующими методическими рекомендациями [5].

Рассчитываемый из значений ПП и  $C_{\text{взв}}$  параметр  $M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}}$  (%  $\text{сут}^{-1}$ ) – есть отношение массы новообразованного ОВ в процессе фотосинтеза за 1–суточную экспозицию и сырой массы взвеси, выраженных в одинаковых единицах (массовых или углеродных) и содержащихся в ед. объёма воды, и являющийся аналогом «классического» гидробиологического параметра (Р/В – продукция/биомасса), характеризующего эффективность процесса первичного продуцирования в воде. В данном случае, значения концентрации общей взвеси ( $C_{\text{взв}}$ ,  $\text{мг}_{\text{сух}} \text{ } л^{-1}$ ), выраженные для сухой массы, пересчитывали на сырую массу, используя коэффициент пересчёта «сырой/сухой» для черноморской взвеси равный 12.5, и в которой содержание живого компонента (фитопланктона) оценивалось в 10% [1, 2].

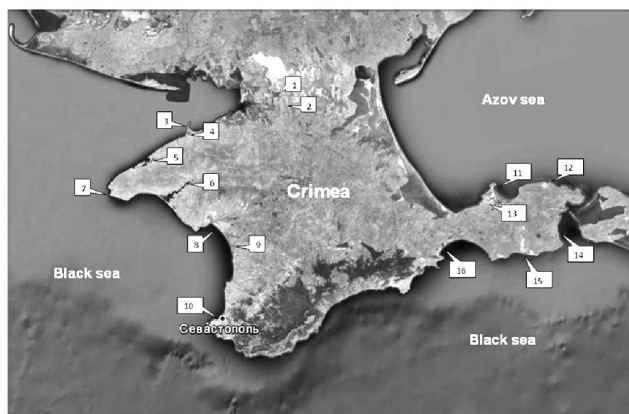
Также, для количественной оценки интенсивности фотосинтеза фитопланктона в производстве ОВ рассчитывали параметр  $T_{\text{обр}}$  (сут) – период «обращения» (или оборачиваемости) массы взвеси, – величина обратная значению  $M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}}$  и показывающая временной период (в сутках), за который количество ОВ, генерируемого фитопланктоном, сравняется по массе с сырой массой общей взвеси, содержащейся в ед. объёма воды.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена фото-схема Крыма с указанием номеров и местоположения станций, где брались пробы воды на первично-продукционные и гидрохимические исследования, а в таблице 1 показаны номера, названия и координаты этих станций.

Основные биотические и абиотические характеристики проб воды, отобранных на указанных станциях, отражены таблице 2, из которой видно, что в августе-месяце, когда температура воды была  $27^\circ\text{C}$ , максимальными значениями ПП характеризуются: солёное оз. Акташское (ПП =  $1121.2 \text{ мгС } м^{-3} \text{ } \text{сут}^{-1}$ ,  $S = 61.6 \text{ ‰}$ ) и слабосолёное оз. Кызыл-Яр (ПП =  $741.9 \text{ мгС } м^{-3} \text{ } \text{сут}^{-1}$ ,  $S = 2.4 \text{ ‰}$ ), а из морских вод – Чёрное море у Бакальской косы (ПП =  $187.1 \text{ мгС } м^{-3} \text{ } \text{сут}^{-1}$ ) и у солёного озера Узунларское (ПП =  $145.0 \text{ мгС } м^{-3} \text{ } \text{сут}^{-1}$ ), Азовское море (бухта Морской пехоты) у солёного озера Чокрак (ПП =  $151.9 \text{ мгС } м^{-3} \text{ } \text{сут}^{-1}$ ) и вода в Керченском проливе (ПП =  $168.1 \text{ мгС } м^{-3} \text{ } \text{сут}^{-1}$ ) у солёного оз. Тобечикское. Минимальными значениями ПП харак-

теризуются: вода в солёном оз. Джарылгач ( $\text{ПП} = 4.6 \text{ мгС м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$ ) и черноморская вода в Феодосийском заливе у солёного озера Аджиголь ( $\text{ПП} = 5.4 \text{ мгС м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$ ).



**Рисунок 1. Фото-схема Крыма с указанием места и номера мониторинговых станций**

Таблица 1

**Номер, название и координаты станций по отбору проб воды во время сухопутной экспедиции по Крыму в августе 2014 г.**

№	Название станции по месту отбора проб	Широта, N	Долгота, E
1	Солёное озеро Киятское	45°59'36.16"	33°57'36.45"
2	Солёное оз. Кирлеутское	45°55'36.86"	34°02'38.55"
3	Море – у солён. оз. Бакальское (Бакальская коса)	45°47'07.90"	33°10'01.68"
4	Солёное оз. Бакальское	45°45'31.28"	33°10'40.80"
5	Солёное оз. Джарылгач	45°34'01.14"	32°51'43.80"
6	Море – у мыса Тарханкут	45°21'06.15"	32°29'55.15"
7	Море – в кутовой части оз. Донузлав	45°26'17.15"	33°11'46.12"
8	Море – Евпатория (пляж)	45°10'38.60"	33°26'49.25"
9	Слабосолёное оз. Кызыл-Яр	45°03'58.62"	33°37'46.80"
10	Море – у Карантинной бухты Севастополя	44°36'56.26"	33°30'10.82"
11	Море – у мыса Казантип	45°26'53.85"	35°50'46.46"
12	Море – у солёного оз. Чокрак	45°28'44.30"	36°17'52.14"
13	Затока у солёного оз. Акташское	45°20'44.10"	35°47'46.16"
14	Море (Керченский пролив) – у солён. оз. Тобечикское	45°10'03.78"	36°24'34.09"
15	Море – у солёного оз. Узунларское	45°02'37.00"	36°06'34.96"
16	Море – у солёного оз. Аджиголь	45°06'01.30"	35°27'09.64"

Из таблицы 2 также видно, что максимальными концентрациями взвеси характеризовались воды солёных озёр: Киятское ( $C_{\text{взв}} = 87.5 \text{ мг}_{\text{сух}} \text{ л}^{-1}$ ), Кирлеутское ( $C_{\text{взв}} = 56.9 \text{ мг}_{\text{сух}} \text{ л}^{-1}$ ), Кызыл-Яр ( $C_{\text{взв}} = 33.3 \text{ мг}_{\text{сух}} \text{ л}^{-1}$ ) и Акташское ( $C_{\text{взв}} = 60.0 \text{ мг}_{\text{сух}} \text{ л}^{-1}$ ).

Таблица 2

**Биотические и абиотические характеристики проб воды, отобранных во время сухопутной экспедиции по Крыму в августе 2014 г.**

№	Дата отбора	S, ‰	pH	ПП, мгС/ м³/сут	$C_{\text{взв}}$ , мг <sub>сух</sub> /л	$M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}}$ , %/ сут	$T_{\text{обр}}$ , сут	$\text{PO}_4$ , мкг/л
1	09-08-14	154.1	7.59	113.6	87.5	0.11		7.0
2	09-08-14	271.0	7.45	134.4	56.9	0.19		33.3
3	10-08-14	18.4	8.45	187.1	7.2	2.08	48.1	14.0
4	10-08-14	59.6	9.17	35.7	13.5	0.22		20.0
5	10-08-14	163.0	7.47	4.6	14.4	0.03		80.6
6	10-08-14	16.9	8.55	327.2	14.0	1.87	53.5	21.7
7	10-08-14	154.1	7.59	31.7	8.5	0.30		11.6
8	10-08-14	17.8	8.55	30.6	8.7	0.28		13.3
9	10-08-14	2.4	7.11	741.9	33.3	1.79	55.9	7.7
10	11-08-14	17.4	8.63	26.6	0.6	3.54	28.2	9.8
11	07-08-14	12.9	8.28	83.2	2.0	3.33	30.0	40.0
12	07-08-14	12.6	8.33	151.9	2.0	6.08	16.4	26.3
13	07-08-14	61.6	8.18	1121.2	60.0	1.50	66.7	12.3
14	08-08-14	17.1	8.40	168.1	4.7	2.86	35.0	31.5
15	08-08-14	17.2	8.43	145.0	1.3	8.92	11.2	15.1
16	09-08-14	17.4	8.47	5.4	0.7	0.62		9.8

Максимальной эффективностью в производстве ОВ характеризовались пробы азовскоморской воды, взятые вблизи солёного оз. Чокрак ( $M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}} = 6.08\% \text{ сут}^{-1}$ ,  $T_{\text{обр}} = 16.4 \text{ сут}$ ), и черноморской – у солёного оз. Узунларское ( $M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}} = 8.92\% \text{ сут}^{-1}$ ,  $T_{\text{обр}} = 11.2 \text{ сут}$ ), а минимальной – пробы воды из солёного оз. Киятское ( $M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}} = 0.11\% \text{ сут}^{-1}$ ,  $T_{\text{обр}} = 909.1 \text{ сут}$ ) и солёного оз. Джарылгач ( $M_{\text{пп}}/M_{\text{взв}} = 0.03\% \text{ сут}^{-1}$ ,  $T_{\text{обр}} = 3333.3 \text{ сут}$ ). Однако, скоррелировать данные оценки, характеризующие процесс первичной биопродуктивности, с гидрохимическими параметрами, в частности, с pH и концентрацией фосфатов ( $\text{PO}_4$ , мкг л<sup>-1</sup>), не получилось. Поэтому, желательнo привлечь к анализу ещё и гидрохимический комплекс азотных соединений, который полнее представит элементы минерального питания микрофитов.

### Заклyчение

Полученные оценки биотических и абиотических параметров поверхностной воды из морского побережья и из некоторых солёных озёр Крыма,

являются формой экологического аудита, дающие представление о летней специфике биопродуцирования микрофитов в регионе.

### Список литературы

1. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: АН БССР. 1960. – 329 с.
2. Витюк Д.М. Взвешенное вещество и его биогенные компоненты. Киев: Наук. думка. 1983. – 212 с.
3. Игнатьева О.Г. Состояние компонентов карбонатной системы вод Севастопольской бухты по данным экспедиционных исследований 2006–2007 гг. // Морск. экологич. журн. 2009. Т. VIII. № 2. – С. 37–48.
4. Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоёмах радиоуглеродным методом. Минск: Белгосуниверситет. 1960. – 26 с.
5. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С.Г. Орадовского. Л.: Гидрометеиздат. 1977. – 208 с.
6. Сероводород в Черном море [Электронный ресурс] // <http://www.ecoteco.ru/index.php?id=870>.
7. Черное море [Электронный ресурс] // <http://blacksea-education.ru/2-2.shtml>.

**Поповичев В.Н., Терещенко Н.Н., Стецюк А.П., Бобко Н.И.,  
Родионова Н.Ю.**

**ФГБУН Институт морских биологических исследований  
им. А.О. Ковалевского, Севастополь**  
[popovichev@ukr.net](mailto:popovichev@ukr.net)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОУГЛЕРОДНОГО МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ РТУТИ НА ФОТОСИНТЕЗ МИКРО- И МАКРОФИТОВ СЕВАСТОПОЛЬСКИХ БУХТ**

Одним из наиболее опасных загрязнителей морской среды является ртуть (Hg), относящаяся к высокотоксичным тяжелым металлам и обладающая способностью накапливаться в морских организмах до концентраций, превышающих предельно допустимые уровни, что чревато необратимыми последствиями [3].

В настоящей работе представлены результаты экспериментального изучения влияния ртути, как химического токсиканта, на фотосинтез микро- и макрофитов севастопольских бухт, проводимых с использованием радиоизотопа <sup>14</sup>C. Объектами наших экотоксикологических исследований служили: природная взвесь из поверхностного водного слоя изучаемых акваторий, включающая биотический компонент (микрофиты), генерирующий первичное органическое вещество (ОВ) водной среды [6], а также